

## Bibliography:

1. Rybickiy V.A. Experience of introduction of the diamond polishing of details with sheeting / V.A. Rybickiy. – K. : Society «Knowledge» of UKRAINE, 1987. – 23 p. (Rus.)
2. Novikov F.V. the Technological providing of high-quality treatment of details with wearproof of the metallurgical setting / F.V. Novikov, V.A. Andilakhay // Naukov DonNTU. Serya : Mashinobuduvannya – Donec'k: DONNTU. – 2010. – Vip. 7 (166). – P. 53-60. (Rus.)
3. Andilakhay V.A. Choice of optimum chart of polishing of contact of wares of the metallurgical setting / V.A. Andilakhay // Trudy to the 16th International scientific and technical conference. Physical and computer technologies. it is Kharkov: KHNPK «FED». – 2010. – P. 119-124. (Rus.)
4. Fiziko-matematicheskaya theory of processes of treatment of materials and technology of engineer / Under F.V. Novikova and A.V. Yakimova. In ten volumes. it is T. 3. «Cutting with of materials blade» is Odessa : ONPU, 2003. – 546 p. (Rus.)
5. Fiziko-matematicheskaya theory of processes of treatment of materials of engineer . F.V. Novikova and A.V. Yakimova. In ten volumes. it is T. 1. «Mechanics of cutting of materials» is Odessa: ONPU, 2002. – 580 p. (Rus.)

Рецензент: С.С. Самотугин  
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 12.04.2012

УДК 621.923

©Шкурूपий В.Г.\*

### ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН С ОПТИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

*Экспериментально установлено, что из существующих методов механической обработки наиболее эффективными с точки зрения образования светотражательных поверхностей деталей из алюминиевых сплавов являются тонкое точение алмазным инструментом, алмазное выглаживание и методы абразивной обработки. Данные методы обеспечивают наименьшие значения отношения параметров шероховатости поверхности  $R_a/R_{max}$  и наибольшие значения критерия шероховатости поверхности  $F$  и коэффициента отражения поверхности. Для контроля физико-химического состояния обработанных поверхностей рекомендуется использовать методику оценки работы выхода электронов. В работе установлена корреляция методов обработки, шероховатости обработанных поверхностей и их физико-химического состояния с оптическими характеристиками поверхностей (светотражательной, поглощательной и излучательной способностью).*

**Ключевые слова:** финишные методы обработки, оптические характеристики, контроль, шероховатость поверхности, эффективность.

**Шкурूपий В.Г. Взаємозв'язок параметрів поверхні деталей машин з оптичними характеристиками.** Експериментально встановлено, що з існуючих методів механічної обробки найбільш ефективними з погляду утворення світловідбиваючих поверхонь деталей з алюмінієвих сплавів є тонке точіння алмазним інструментом, алмазне вигладжування й методи абразивної обробки. Дані методи забезпечують найменші значення відношення параметрів шорсткості поверхні  $R_a/R_{max}$  й найбільші значення критерію шорсткості поверхні  $F$  й коефіцієнта відбиття поверхні. Для контролю фізико-хімічного стану оброблених поверхонь рекомендується використовувати методику оцінки роботи виходу електронів. У роботі встановлена

\* канд. техн. наук, доцент, Харківський національний економічний університет, г. Харків

кореляція методів обробки, шорсткості оброблених поверхонь і їхнього фізико-хімічного стану з оптичними характеристиками поверхонь (світловідбиваючих, поглинаючих і з випромінювальною здатністю).

**Ключові слова:** фінішні методи обробки, оптичні характеристики, контроль, шорсткість поверхні, ефективність.

**V.G. Shkurupiy. Intercommunication of surface machine parts parameters with their optical characteristics.** *It is experimentally found out that among the existing methods of mechanical treatment fine sharpening with diamond tool, diamond polishing and abrasive treatment methods are most efficient from the point of view of formation light reflecting surfaces of parts, made of aluminum alloys. These methods ensure the lowest values of relation between the parameters of surface roughness  $R_a/R_{max}$  and the highest value of the criterion of surface roughness  $F$  and coefficient of surface reflection. For the control of the physical and chemical state of the treated surfaces it was recommended to utilize the method of estimation of work of electrons work function. Correlation of methods of treatment, roughness of the treated surfaces and their physical and chemical state, was established in the work with optical descriptions of surfaces).*

**Keywords:** finish methods of treatment, optical descriptions, control, roughness of surface, efficiency.

**Постановка проблеми.** В технологическом обеспечении эксплуатационных характеристик деталей объектов новой техники задействовано большое количество методов обработки. Однако добиться стабильности параметров качества обработки по шероховатости и оптическим свойствам поверхности чрезвычайно сложно. Это связано с тем, что рекомендации по контролю параметров в процессе изготовления деталей разные и не обеспечивают стабильность качества поверхностного слоя после обработки. Поэтому проблема управления геометрическими характеристиками и физико-химическим состоянием поверхностей при обработке является актуальной.

**Анализ последних исследований и публикаций.** На финишных операциях обработки окончательно формируется поверхностный слой деталей машин. Известна интегральная оценка шероховатости поверхности по критерию шероховатости поверхности  $F$  [1, 2]. В данных работах приведены методики оценки критерия шероховатости поверхности, однако задача технологического обеспечения эксплуатационных характеристик не рассматривалась. Эксперименты показали, что ряд разных методов обработки обеспечивают равные значения критерия шероховатости поверхности  $F$ , при этом светоотражательная способность таких поверхностей может быть разной. Эксплуатационные свойства деталей, работающих в условиях воздействия солнечной радиации, определяются светоотражательной и излучательной способностью поверхностей. Эффективными являются процессы финишной обработки абразивными материалами и нанесение покрытий вакуумным и гальваническим методами.

Агабабов С.Г. [1] установил и аналитически описал влияние шероховатости обработанной поверхности на ее оптические свойства. Однако на практике это влияние проявляется неоднозначно, что можно объяснить наличием большого количества методов и способов обработки, различных рабочих сред, материалов. Наиболее простым методом получения поверхностей с заданными оптическими свойствами является окисление при нагреве на воздухе или иной газовой среде. С увеличением времени окисления коэффициенты поглощения и излучения будут увеличиваться с различной интенсивностью, а светоотражательная способность уменьшаться.

Существующие методы обработки позволяют управлять процессом формирования отклонений формы и расположения поверхностей, волнистости и их шероховатости. Однако для неровностей на поверхности с размерами менее 1 мкм существует проблема управления процессом их формообразования. Трудности воспроизводства таких неровностей возникают по следующим причинам: окислы, как результат физико-химических явлений на поверхности являются соизмеримыми с неровностями при финишной обработке, загрязнения, неоднородности на поверхности требуют введения дополнительных операций по обработке поверхности. Изменение физико-химического состояния поверхностного слоя можно оценивать работой выхода электрона [3]. Однако и в этой работе не решалась задача технологического обеспечения эксплуатационных

свойств поверхностей. Рассматривалась задача оценки изменения параметров поверхности после обработки и разработки рекомендаций по контролю обработанных поверхностей.

**Цель работы** – достижение заданных значений оптических характеристик поверхностей на основе технологического обеспечения высотных параметров шероховатости поверхности и значений работы выхода электрона.

**Изложение основного материала.** Для определения влияния процесса обработки на изменения критерия шероховатости поверхности  $F$  и работы выхода электронов (значений контактной разности потенциалов - КРП) были проведены эксперименты с образцами алюминиевого сплава АМГ-6. Режимы обработки выбирались из условия обеспечения различных геометрических и физико-химических параметров поверхностей. Полирование осуществлялось войлочными полировальниками с использованием суспензии, состоящей из карбида кремния и электрокорунда зернистостью  $1\div 3$  мкм, дистиллированной воды и добавок сульфаминовых соединений типа ОП-10, а также технологическими составами с алмазными микропорошками.

При термическом окислении применялся нагрев до  $873^{\circ}\text{C}$  и время выдержки от 30 с до 70 мин. Анодирование проводилось в сернокислом электролите ( $\text{H}_2\text{SO}_4 - 180\div 230$  г/л) с наполнением в хромике и в горячей воде. Анодная плотность тока составляла  $0,8 \div 1,5$  А/дм<sup>2</sup> при температуре  $286 \div 295\text{K}$ . Время выдержки изменялось от 5 до 20 мин.

Оптические характеристики исследовались с применением фотометра ФМ-59 и терморадиметра ТИС. Измерения на терморадиметре проводились на спектральном интервале от 4 до 40 мкм. Эталонном для опытов служило золоченое зеркало с коэффициентом излучения  $\varepsilon = 0,02$  и модель черного тела  $\varepsilon = 0,96$ .

Геометрические характеристики обработанных поверхностей исследовались с помощью профилографа-профилометра мод. 252. Субмикронеровности на профиле шероховатости поверхности определялись с помощью растровой электронной микроскопии. Энергетическое состояние поверхностного слоя оценивалось измерением работы выхода электрона методом контактной разности потенциалов.

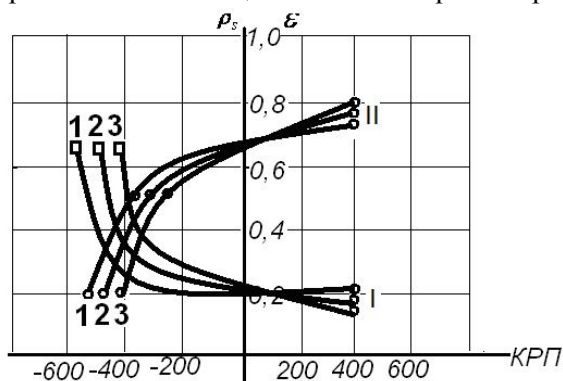


Рис. 1 – Контактная разность потенциалов (КРП), светоотражательная  $\rho_s$  (I) и излучательная  $\varepsilon_{\text{из}}$  (II) способность поверхностей из сплава АМГ-6 после анодирования: 1-  $F=0,98$ ; 2 –  $F=0,8$ ; 3 –  $F=0,7$  (перед анодированием поверхности)

В основу методики измерения КРП положен принцип статического конденсатора с использованием компенсационного метода измерения разности потенциалов, возникающей при контакте измерительного электрона с поверхностью исследуемой детали.

Результаты экспериментальных исследований приведены на рис. 1. В исходном состоянии отражательная

способность поверхностей разная, но отличается незначительно. С увеличением толщины анодной пленки отражательная способность образцов выравнивается, при этом значение КРП отличаются существенно. Это можно объяснить различием исходной перед анодированием шероховатостью поверхности, что приводит к изменению площади излучающей поверхности.

В работе [4] теоретически обоснована связь шероховатости с оптическими характеристиками обработанных поверхностей. Формирование шероховатости поверхности представлено в виде аналитической зависимости отношения высотных параметров шероховатости от относительной длины профиля шероховатости и угла при вершине абразивного зерна:

$$\frac{R_a}{R_{\max}} = \frac{1 - \frac{1}{l_0}}{1 - \sin \gamma} \cdot \left[ 1 - 0,5 \cdot \frac{1 - \frac{1}{l_0}}{1 - \sin \gamma} \right], \quad (1)$$

где  $l_0$  – относительная длина профиля шероховатости;

$R_a$  – среднее арифметическое отклонение профиля шероховатости;

$R_{max}$  – максимальное значение высотного параметра шероховатости;

$\gamma$  – половина угла при вершине абразивного зерна.

Также установлена взаимосвязь критерия шероховатости поверхности  $F$  с отношением высотных параметров шероховатости поверхности  $R_a / R_{max}$ :

$$F \approx 1 - \frac{R_a}{R_{max}}. \quad (2)$$

По определению критерий шероховатости поверхности  $F$  равен отношению площади гладкой к площади шероховатой поверхности. Связь критерия шероховатости поверхности  $F$  с оптическими характеристиками (коэффициентами поглощения  $A_r$  и излучения  $\varepsilon_{ш}$ ) можно описать, используя известную формулу [1]:

$$\varepsilon_{\sigma} = \frac{\varepsilon_r}{1 - (1 - A_r) \cdot (1 - F)}, \quad (3)$$

где  $\varepsilon_{\sigma}$  – коэффициент излучения шероховатой поверхности;

$\varepsilon_r$  – коэффициент излучения гладкой поверхности;

$A_r$  – коэффициент поглощения гладкой поверхности.

Из приведенных зависимостей следует, что оптические характеристики поверхностей определяются не просто параметрами шероховатости  $R_a$  и  $R_{max}$ , а их отношением  $R_a / R_{max}$ , которое может изменяться в довольно широких пределах: 0...0,29. Это указывает на возможность значительного улучшения оптических характеристик обработанных поверхностей и соответственно эксплуатационных свойств ответственных деталей, рассматривая как критерий оценки шероховатости относительную длину профиля  $l_0$  и отношение среднеарифметического отклонения профиля к максимальному значению высотного параметра шероховатости поверхности ( $R_a / R_{max}$ ). Как показано выше, критерии  $l_0$ ,  $R_a / R_{max}$  и шероховатости поверхности  $F$  аналитически связаны между собой. Так, с уменьшением  $R_a / R_{max}$  критерий шероховатости  $F$  увеличивается, а  $l_0$  уменьшается. Соответственно коэффициенты излучения  $\varepsilon_{ш}$  и поглощения  $A_{ш}$  обработанных поверхностей уменьшаются, а коэффициент отражения света  $\rho_{ш}$  увеличивается. С целью повышения отражательной способности поверхности необходимо уменьшать отношение  $R_a / R_{max}$  и относительную длину профиля  $l_0$ , а критерий шероховатости поверхности  $F$  увеличивать.

На рис. 2 приведены зависимости критерия шероховатости поверхности  $F$  и контактной разности потенциалов (КРП), измеренных на поверхностях деталей из алюминиевого сплава АМГ-6. Анализируя зависимости, можно сделать вывод: на предварительных стадиях обработки с применением фрезерования и точения с использованием традиционных инструментальных материалов (быстрорежущая сталь P18, твердый сплав и др.), а также гидроабразивной обработки изменение оптических характеристик связано с изменением критерия шероховатости поверхности  $F$ . Применение финишных методов обработки приводит к образованию поверхностей, величина критерия шероховатости которой приближается к 1, и поэтому изменение оптических характеристик связано с изменением КРП. Поверхности деталей машин, имеющие величину  $F$ , равную единице, следует отнести к высокоотражательным поверхностям или поверхностям, имеющим низкую поглощательную способность.

Результаты экспериментальных исследований (рис. 2) показывают, что финишные методы обработки не оказывают существенного влияния на изменение критерия шероховатости поверхности, однако КРП при этом существенно изменяется. Следовательно, контролировать обработку поверхностей деталей машин можно параметром  $F$  и КРП для тех методов обработки, у которых наблюдается изменение контролируемых параметров.

Таким образом, на предварительных стадиях обработки с изменением фрезерования, точения традиционными методами и предварительного шлифования, гидроабразивной обработки и обработки металлической дробью изменение оптических характеристик связано с изменением критерия шероховатости поверхности  $F$ , величина которого изменяется от 0,4 до 0,98. Эти методы обработки необходимо применять перед нанесением покрытий для увеличения излуча-

тельной способности поверхности. Уменьшение критерия шероховатости поверхности при гидроабразивной обработке связано с образованием на профиле шероховатости субмикронеровностей, сравнимых по величине с длинами волн падающего излучения. Применение финишных методов обработки (точения резцами из сверхтвердых материалов, абразивного полирования или доводки), а также поверхностного пластического деформирования приводит к образованию поверхностей, критерий шероховатости поверхности  $F$  которых приближается к единице. Поэтому для таких поверхностей изменение оптических характеристик связано с изменением физико-химических параметров и управлять оптическими характеристиками можно посредством величины КРП.

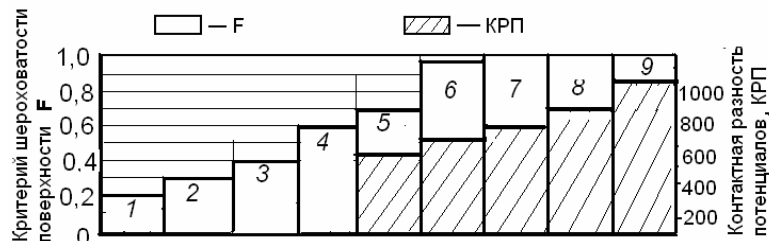


Рис. 2 – Характер изменения оптических свойств и параметров поверхности от методов обработки деталей из сплава АМГ-6: 1 – прокат; 2 – гидроабразивная обработка; 3 – обработка металлической дробью; 4 – фрезерование твердосплавной фрезой; 5 – фрезерование фрезой из эльбора; 6 – точение твердосплавным резцом; 7 – алмазное полирование; 8 – выглаживание; 9 – алмазное точение

### Выводы

1. При технологическом обеспечении излучательных свойств поверхностей перед анодированием необходимо увеличивать площадь шероховатой поверхности за счет применения обработки дробью и гидроабразивной обработки. Контроль обработанной поверхности необходимо осуществлять путем оценки критерия шероховатости поверхности  $F$ .
2. После финишных методов обработки светоотражательных поверхностей контроль обработанной поверхности необходимо осуществлять путем оценки работы выхода электрона (значений контактной разности потенциалов - КРП).
3. Отношение высотных параметров шероховатости поверхности  $R_a / R_{max}$  может быть использовано для контроля дефектов поверхности после применения финишных методов обработки.

### Список использованных источников:

1. Агабабов С.Г. Влияние фактора шероховатости на радиационные свойства твердого тела со случайной шероховатостью / С.Г. Агабабов // Теплофизика высоких температур, 1976. – Т. 13, №2. – С. 314–318.
2. Гнусин Н.П. Шероховатость электроосажденных поверхностей / Н.П. Гнусин, Н.Я. Коварский. – М. : Изд-во «Наука», 1979. – 328 с.
3. Шкилько В.В. Экзоэмиссионный анализ поверхностного слоя реальных объектов / В.В. Шкилько, В.В. Борисов, Ю.Ф. Назаров // Поверхностный слой, точность, эксплуатационные свойства деталей машин и приборов : Материалы Всесоюзного научно-технического семинара. – М., 1986 – С. 41-43.
4. Шкурупій В.Г. Підвищення ефективності технології фінішної обробки світловідбиваючих поверхонь деталей із тонкого листа і стрічок: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.08 «Технологія машинобудування» / В.Г. Шкурупій – Одеса, 2006. – 21 с.

### Bibliography:

1. Agababov S.G. Influence of factor of roughness on radiation properties of solid with a casual roughness / S.G. Agababov // Teplofizika high temperatures, 1976. – T. 13, № 2. – P. 314-318. (Rus.)
2. Gnusin N.P. Roughness of the electrodeposited surfaces / N.P. Gnusin, N.Ya. Kovarskiy. – M. :

- Izd-vo «Science», 1979. – 328 p. (Rus.)
3. Shkil'ko V.V. Ekzoemissionnyy analysis of superficial layer of the real / V.V. Shkil'ko, V.V. Borisov, Yu.F. Nazarov // The Superficial layer, exactness, operating properties of details of machines and devices: Materials of the All-union scientific and technical seminar. M., 1986 – P. 41-43. (Rus.)
  4. Shkurupiy V.G. Pidvischennya to efficiency of technology of finish treatment of surfaces of details from a thin letter and ribbons: Diss on the receipt of sciences. degree of sciences : special. 05.02.08 «Technology» / of V.G. Shkurupiy – Odesa, 2006. – 21 p. (Ukr.)

Рецензент: С.С. Самоутугин  
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 12.04.2012

УДК 621.923

©Новиков Ф.В.<sup>1</sup>, Жовтобрюх В.А.<sup>2</sup>, Бенин Е.Ю.<sup>3</sup>

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПО КРИТЕРИЮ НАИМЕНЬШЕЙ СЕБЕСТОИМОСТИ

*Получена аналитическая зависимость для определения себестоимости обработки с учетом основных изменяющихся статей затрат и установлены условия ее уменьшения. Доказано существование экстремума (минимума) себестоимости обработки от скорости резания и определены экстремальные значения основных параметров обработки, включая производительность, стойкость инструмента, количество инструментов, необходимых для обработки заданной партии деталей и т.д. Показана эффективность (с точки зрения уменьшения себестоимости и повышения производительности обработки) применения высокоскоростного резания. Установлена высокая степень сходимости теоретических и экспериментальных результатов.*

**Ключевые слова:** себестоимость обработки, производительность, стойкость, эффективность высокоскоростное резание.

*Новіков Ф.В., Жовтобрюх В.О., Бенін Є.Ю. Визначення оптимальних умов механічної обробки деталей машин за критерієм найменшої собівартості. Отримано аналітичну залежність для визначення собівартості обробки з урахуванням основних змінних статей витрат і встановлені умови її зменшення. Доведено існування екстремуму (мінімуму) собівартості обробки від швидкості різання й визначені екстремальні значення основних параметрів обробки, включаючи продуктивність, стійкість інструмента, кількість інструментів, необхідних для обробки заданої партії деталей і т.д. Показана ефективність (з погляду зменшення собівартості й підвищення продуктивності обробки) застосування високошвидкісного різання. Установлено високий ступінь збіжності теоретичних і експериментальних результатів.*

**Ключові слова:** собівартість обробки, продуктивність, стійкість, ефективність високошвидкісне різання.

<sup>1</sup> д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Харьковский национальный экономический университет», г. Харьков

<sup>2</sup> инженер, ООО ВариУс, г. Днепропетровск

<sup>3</sup> инженер, ООО «НПО «Свет шахтера», г. Харьков